

УДК 674.07

М.В. Газеев, Е.А Газеева, Ю.И. Ветошкин

(M.V. Gazeev, E.A. Gazeeva, YU.I. Vetoshkin)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

E-mail для связи с авторами: gazeev_m@list.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЯХ, ОТВЕРЖДЕННЫХ ПРИ АЭРОИОНИЗАЦИИ

THE RESEARCH OF SHRINKING STRESSES IN THE LACQUER COATINGS AT AERO IONIZATION

Приводятся результаты исследования усадочных напряжений, возникающих в лакокрасочных покрытиях после высыхания (отверждения) в естественных условиях и при аэроионизации. Величину усадочных напряжений находили методом консольно закрепленной упругой металлической пластины с лакокрасочным покрытием.

Results of research of the shrinkable tension arising in lacquer coating after drying (hardening) under natural conditions and at aero ionization are given in article. The size of shrinkable tension was found the method of console the fixed elastic metal plate with a lacquer coating.

Процесс сушки лакокрасочных покрытий (ЛКП) на древесине сопровождается нарастанием в них усадочных напряжений. При сушке ЛКП происходит физический процесс испарения растворителя и химические реакции полимеризации. В результате этого процесса медленно сокращается толщина покрытия и происходит стягивание его в углубления подложки. ЛКП получается растянутым на поверхности подложки, что вызывает нарастание усадочных напряжений в нем. Внутренние усадочные напряжения в покрытиях опасны тем, что снижают когезионную и адгезионную прочность, а значит, и долговечность. При больших внутренних напряжениях может происходить самопроизвольное растрескивание или отслаивание покрытий от подложки [1]. Напряжения, возникающие в ЛКП, рассмотрены в работах М.И. Карякиной, Л.А Сухаревой, А.Т. Санжаровского, А.Д. Яковлева и других. Снижение внутренних усадочных напряжений в полимерных лакокрасочных покрытиях, сформированных на поверхности изделий, а также повышение прочностных физико-механических свойств являются актуальными.

Известны различные способы снижения внутренних напряжений в полимерных покрытиях. Один из эффективных путей снижения напряжений – это усиление релаксационных процессов на границе покрытие – подложка за счет применения специального подслоя грунта из эластомеров (каучуков). Для каждого покрытия существует предельное значение толщины грунтовочного слоя, при котором внутренние напряжения полностью релаксируют [1].

Введение модификаторов позволяет снизить внутренние напряжения от 2-х до 10 раз, повысить адгезию покрытий и долговечность. Модификация основана на формировании в системах дисперсий упорядоченной структуры с определенным распределением физических и химических связей. Осуществляется это с помощью специальных добавок различной природы или путем изменения коллоидно-химических свойств. Для понижения внутренних напряжений и улучшения свойств покрытий из дисперсий с неоднородной структурой частиц модификация осуществляется предварительным диспергированием частиц и сшиванием их с помощью специальных добавок

(для обеспечения тиксотропной структуры полимерного покрытия, что позволяет улучшить деформационно-прочностные свойства и долговечность покрытий). В качестве модификаторов для покрытий, образованных эпоксидными олигомерами, а также эмали на их основе применяются азотсодержащие олигомеры с активными функциональными группами по отношению к подложке и олигомеру [2].

Введение в полимерную композицию модифицирующих добавок, как правило, приводит к увеличению стоимости формирования полимерных покрытий и трудоемкости подготовки применяемых композиций, а также не обеспечивает достаточного снятия внутренних напряжений в покрытии.

Результаты исследования аэроионизационного способа сушки ЛКП на древесине показали его положительное влияние на физико-механические свойства сформированных покрытий. Способ позволяет сократить время сушки (отверждения) покрытий, ЛКМ в 1,5–2 раза по сравнению с естественными условиями [3].

По полученным ИК-спектрам можно сделать вывод, что химический состав жидкого акрилового лака отличается от состава твердых покрытий [4]. В процессе отверждения ЛКП последовательно происходит реакция изомеризации с образованием сопряженных двойных связей в углеродном скелете и стадия дальнейшей полимеризации, в результате которой двойные связи раскрываются и образуется более упорядоченная (более частая сетка) пространственно-сшитая молекула полимера.

Электрическое поле электроэффлювиального аэроионизационного устройства (ЭЭАУ) обеспечивает более глубокую степень полимеризации и упорядочивание структуры молекулы полимера с определенным распределением физических и химических связей. Следовательно, гипотетически можно предположить, что аэроионизация позволит устранить (уменьшить) внутренние напряжения в покрытии при сушке.

Для подтверждения озвученной гипотезы был проведен эксперимент, целью которого было определить внутренние усадочные напряжения в ЛКП, отвержденном при воздействии аэроионизации.

Исследования, позволяющие оценить усадочные напряжения, возникающие в отвержденном ЛКП, производили консольным методом (рис. 1), основанным на измерении отклонения от первоначального положения свободного конца консольно закрепленной упругой металлической пластины с ЛКП, опираясь на теорию деформации и перемещений при изгибе [5].

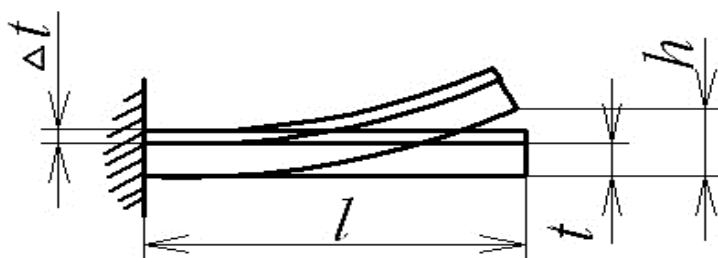


Рис. 1. Консольно закрепленная металлическая пластинка с ЛКП

Оценка усадочных напряжений осуществлялась на металлической пластинке с размерами 50×5×0,11 мм. Металлическую пластику, предварительно обезжиренную растворителем, закрепляли консольно на штативе (этап 1, рис. 2). Лакокрасочный материал наносился на длину 40 мм. Нулевое значение свободного конца консоли фиксировали визуально на микроскопе МИР-2 с ценой деления окулярного микрометра 0,049 мм. Затем на металлическую пластинку кистью наносили жидкий лакокрасочный

материал (лак ВД-АК «Эколак») и снова фиксировали положение свободного конца консоли (этап 2, рис. 2). На электродный излучатель ЭЭАУ (электрод), размещенный на расстоянии 0,04 м над покрытием, подавали напряжение $U = 24$ кВ (этап 3, рис. 2). Расстояние определялось опытным путем, чтобы обеспечить перекрытие электрическим полем всей поверхности покрытия, сформированного на металлической пластинке. Вблизи электрода возникают упорядоченные потоки аэроионов, повышается влияние магнитного поля, которое имеет форму купола и проецируется на поверхность как круг [6].

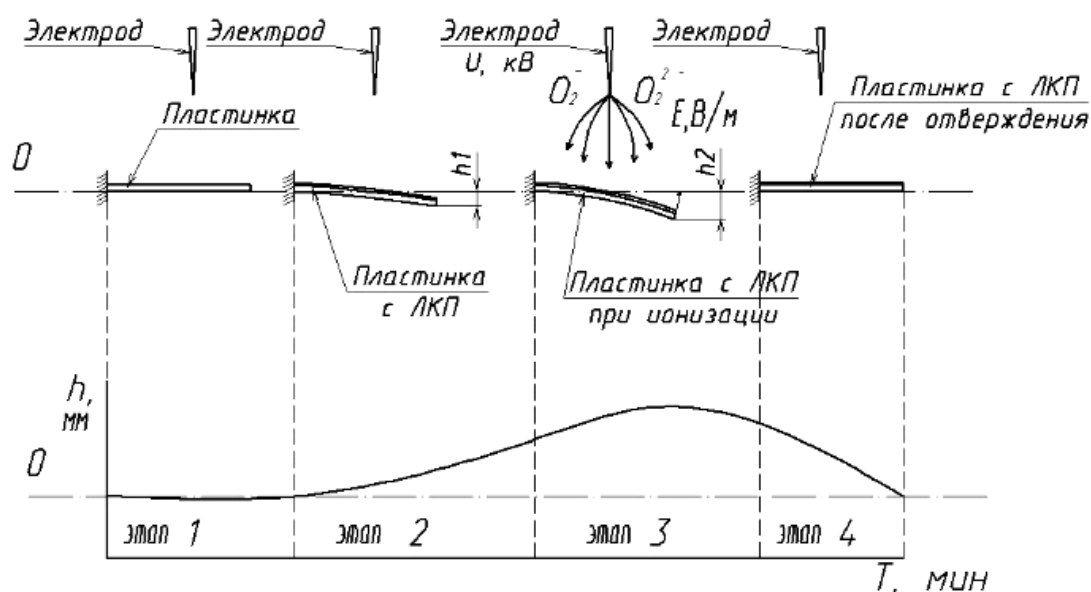


Рис. 2. Перемещение металлической пластинки в процессе аэроионизационной сушки ЛКП

Перемещение свободного конца металлической пластинки с нанесенным покрытием в процессе его отверждения определяли на микроскопе МИР-2. По достижению времени практического высыхания покрытия отключали подачу напряжения на электродный излучатель ЭЭАУ и фиксировали перемещения (этап 4, рис. 2).

Для сравнения были проведены исследования по определению внутренних напряжений, возникающих в покрытии после высыхания (отверждения) в естественных условиях (при $t = 20 \pm 2$ °С и $W = 65 \pm 5$ % (рис. 3)).

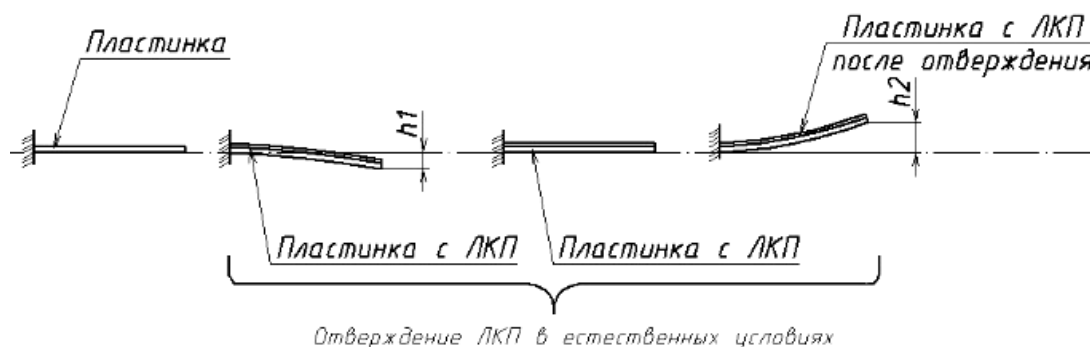


Рис. 3. Перемещение металлической пластинки при естественной сушке ЛКП

По величине отклонения консоли от первоначального напряжения рассчитывали внутренние напряжения ($\sigma_{вн}$) в покрытии, МПа:

$$\sigma_{вн} = \frac{Et^3h}{30l^2(t + \Delta t)},$$

где E – модуль упругости подложки (69 000 МПа);

t – толщина подложки (0,11 мм);

h – отклонение консоли (см. табл.);

l – длина пленки (39 мм);

Δt – толщина пленки (0,04 мм).

Результаты исследований внутренних напряжений в ЛКП

№	Условия сушки ЛКП	Время τ , мин (ч)	Отклонение консо- ли h , мм	МПа
<i>При ионизации</i>				
1	Без ЛКП	0	0	0
2	С ЛКП	0	0,229	0,0821
3	ЭЭАУ	0	0,294	0,1054
4	ЭЭАУ	12 (0,2)	0,220	0,0791
5	ЭЭАУ	23 (0,4)	0,188	0,0674
6	ЭЭАУ	34 (0,6)	0,171	0,0615
7	–	35 (0,6)	0	0
8	–	1440 (24)	0	0
<i>В естественных условиях</i>				
1	Без ЛКП	0	0	0
2	С ЛКП	0	0,245	0,0444
3	–	20 (0,3)	0,1388	0,0248
4	–	32 (0,5)	0,057167	0,0102
5	–	96 (1,6)	-0,147	-0,0263
6	–	350 (5,8)	-0,27767	-0,0496
7	–	1440 (24,0)	-0,27767	-0,0496

Результаты определения перемещения свободного конца консоли и внутренних напряжений, возникающих в покрытии при отверждении, приведены в таблице. По полученным экспериментальным данным таблицы и рисунка 2 можно сделать следующий вывод.

Электрическое поле, создаваемое аэроонизационным устройством, позволяет нейтрализовать внутренние усадочные напряжения в ЛКП, отверждаемом на металлической пластинке. По истечении 34 минут свободный конец консольно закрепленной

пластинки возвращается в исходную нулевую точку и сохраняет это положение в течение суток и более.

Создание на поверхности ЛКП дополнительной энергии от электрического поля электродов излучателя ЭЭАУ уменьшает поверхностное натяжение ЛКМ и способствует быстрому обезвоживанию покрытия. Можно условно принять, что покрытие «растягивается» по поверхности подложки под воздействием поля аэроионизационной сушки и, как следствие, напряжения присутствуют в ЛКП при сушке.

После аэроионизационного отверждения внутренние усадочные напряжения в ЛКП нейтрализуются (заявка на изобретение от 16.07.2015 г. № 2015129302). Дальнейшее сокращение расстояния не ведет к значительному эффекту, но может оказывать негативное влияние на качество покрытий. Увеличение расстояния вызывает снижение эффекта снятия внутренних напряжений в покрытии и увеличение времени пленкообразования. При снижении напряжения до 12 кВ способ становится неэффективным для полиуретановых и алкидных ЛКМ, что подтверждает необходимость создания специальных условий для протекания химических реакций пленкообразования. При повышении напряжения до 48 кВ происходит резкое увеличение напряженности электрического поля в воздухе разрядного промежутка, с возможностью дугового разряда.

Подводя итог, можно утверждать, что устранение внутренних напряжений в ЛКП аэроионизацией позволит увеличить их долговечность.

Библиографический список

1. Яковлев, А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий: учебник [для вузов] / А.Д. Яковлев. – Л.: Химия, 1989. – С. 111.
2. Сухарева, Л.А. Полимеры в производстве тароупаковочных материалов [Текст]: учеб. пособие [для студентов вузов] / Л.А. Сухарева, В.С. Яковлев. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 494 с.
3. Газеев, М.В. Аэроионизационный способ интенсификации пленкообразования лакокрасочных покрытий на древесине и древесных материалах / М.В. Газеев // Вестник московского государственного университета леса – Лесной вестник. – М.: МГУЛ. – 2014. – № 2. – С. 117–121.
4. Газеев, М.В. Исследование химического состава лакокрасочного покрытия, образованного ВД-АК ЛКМ на древесине под влиянием ионизированного воздуха / М.В. Газеев, И.В. Жданова // Леса России и хозяйство в них. – 2013. – № 4–47. – С. 36–39.
5. Карякина, М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М.И. Карякина. – М.: Химия, 1988. – С. 137–140.
6. Сивухин, Д.В. Общий курс физики: учеб. пособие [для вузов]. В 5 т. Т. 3 Электричество / Д.В. Сивухин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, МФТИ, 2004. – С. 650.